

7. *Greatrex N., Timms D., Kurita N. et al.* Axial Magnetic Bearing Development for the BiVACOR Rotary BiVAD/TAH // IEEE Transactions on Biomedical Engineering. 2010. Vol. 57. № 3. PP. 714-721.
8. BiVACOR Inc. 2015 / <http://bivacor.com> (дата обращения: 2015.05.09).
9. *Kleinheyer M., Timms D., Greatrex N. et al.* Pulsatile operation of the BiVACOR TAH – Motor design, control and hemodynamics / Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 36th Annual International Conference of the IEEE. 2014. Aug. PP. 5659-5662.
10. *Frazier O.H., Tuzun E., Cohn W. et al.* Total heart replacement with dual centrifugal ventricular assist devices // ASAIO Journal. 2005. Vol. 51. № 3. PP. 224-229.
11. *Frazier O.H., Tuzun E., Cohn W.E. et al.* Total heart replacement using dual intracorporeal continuous-flow pumps in a chronic bovine model: A feasibility study // ASAIO Journal. 2006. Vol. 52. № 2. PP. 145-149.
12. *Frazier O., Cohn W.E., Tuzun E. et al.* Continuous-flow total artificial heart supports long-term survival of a calf // Texas Heart Institute Journal. 2009. Vol. 36. № 6. PP. 568-574.
13. *Cohn W.E., Handy K.M., Parnis S.M. et al.* Eight-year experience with a continuous-flow total artificial heart in calves // ASAIO Journal. 2014. Vol. 60. № 1. PP. 25-30.
14. *Frazier O., Cohn W.E.* Continuous-flow total heart replacement device implanted in a 55-year-old man with end-stage heart failure and severe amyloidosis // Texas Heart Institute Journal. 2012. Vol. 39. № 4. PP. 542-546.
15. *Netuka I., Maly J., Szarszoi O. et al.* Novel Treatment of an Infiltrating Cardiac Fibrosarcoma // Texas Heart Institute Journal. 2014. Vol. 41. № 2. PP. 248-249.
16. *Shiose A., Nowak K., Horvath D.J. et al.* Speed modulation of the continuous-flow total artificial heart to simulate a physiologic arterial pressure waveform // ASAIO Journal. 2010. Vol. 56. № 5. PP. 403-409.
17. *Khalil H.A., Kerr D.T., Schusterman M.A. et al.* Induced pulsation of a continuous-flow total artificial heart in a mock circulatory system // The Journal of Heart and Lung Transplantation. 2010. Vol. 29. № 5. PP. 568-573.
18. *Soucy K.G., Giridharan G.A., Choi Y. et al.* Rotary pump speed modulation for generating pulsatile flow and phasic left ventricular volume unloading in a bovine model of chronic ischemic heart failure // The Journal of Heart and Lung Transplantation. 2015. Vol. 34. № 1. PP. 122-131.

Дмитрий Сергеевич Петухов,
аспирант,

Сергей Васильевич Селищев,

д-р физ.-мат. наук, профессор, зав. кафедрой,

Дмитрий Викторович Тельшиев,

канд. техн. наук, ст. научный сотрудник,

кафедра биомедицинских систем,

Национальный исследовательский университет «МИЭТ»,

г. Москва, г. Зеленоград,

e-mail: dmitry.spetukhov@gmail.com

И.В. Чернова, С.А. Сумин, М.В. Бобырь, С.П. Серегин

Прогнозирование и диагностика сердечно-сосудистых осложнений на основе обратных нечетких моделей

Аннотация

Описывается преформализация процесса обобщенной нечетко-логической математической модели прогнозирования и диагностики сердечно-сосудистых осложнений, способствующая повышению оперативности принятия решения врачом анестезиологом-реаниматологом об их причинах и позволяющая оптимизировать течение периоперационного периода путем донозологической профилактики возникающих предвестников осложнений, снижая их общее количество и тяжесть клинических проявлений.

Введение

Возникающие в периоперационном периоде сердечно-сосудистые осложнения являются ведущей причиной, приводящей как к потере трудоспособности, так и к смертельным исходам (по некоторым данным, 25...50 % случаев) после выполнения внесердечных хирургических вмешательств [1].

У больных острым гнойным пиелонефритом течение заболевания осложняется выраженными клиническими проявлениями синдрома эндогенной интоксикации и эндотоксикоза, способствующими развитию тяжелого сепсиса и инфекционно-токсического шока, что обуславливает причины происходящих изменений со стороны сердечно-сосудистой системы [2].

Согласно данным некоторых исследований, частота развития таких сердечно-сосудистых осложнений (ССО), как периоперационная ишемия миокарда у больных без сердечно-сосудистой патологии, составляет менее 1 % [2], тогда как, в сравнении с больными с ИБС, эта цифра возрастает от 40 до 60 % (Бураковский В.И и др., 2000, Priebe H.J., 2005); послеоперационный кардиогенный отек легких наблюдается у 2 % больных старше 40 лет, у 6 % больных с компенсированной и у 16 % с некомпенсированной сердечной недостаточностью [1], [2].

С математической точки зрения, сложность в решении задач прогнозирования и ранней (донозологической) диагностики осложнений как на фоне существующей патологии сер-

дечно-сосудистой системы, так и без нее определяется тем, что используемые информативные признаки носят неполный и разнотипный характер, с нечеткой структурой классов, что требует специальных подходов к синтезу соответствующих решающих правил [3]-[5]. Специалисты, работающие в области нечеткой логики принятия решений, утверждают, что логические построения теории Л. Заде [3], [6], [7] отличаются богатыми возможностями по конструированию языковых механизмов формальных эквивалентных преобразований. При решении медицинских задач с успехом используется большое количество математических моделей диагностики осложнений, однако проблема быстрой оценки причин развития данных нарушений и своевременная целенаправленная коррекция ССО, основанная на понимании этиопатогенеза происходящих событий, остается актуальной.

Метод логического определения влияния некоторых причин, приведших и/или способствующих клиническому проявлению ССО у больных острым гнойным пиелонефритом, на нарушение основных показателей гомеостаза

Основная идея предлагаемого метода, описанная при помощи частной математической модели прогнозирования и диагностики сердечно-сосудистых осложнений на основе численного моделирования с помощью аналитического метода диаг-

ностики, включает в себя следующие этапы [6], [8]-[13]:

1. Определение множества $R = \{r_1, r_2, \dots, r_i, \dots, r_n\}$ причин ССО и множества заключений нечетко-логического вывода $B = \{b_1, b_2, \dots, b_j, \dots, b_m\}$ по нарушениям основных параметров гомеостаза больного.

2. Экспертная оценка влияния причин ССО у больных острым гнойным пиелонефритом на выбранные информативные признаки в интервале значений от 0 до 1 и формирование матрицы коэффициентов, задаваемых экспертом на основе нечеткого отношения

$$M = \left\{ \left(\langle r_i; b_j \rangle, a_{ij} \right) \mid \langle r_i; b_j \rangle \in A \right\}; \quad (1)$$

$$a_{ij} : R \times B \rightarrow [0, 1], \quad (2)$$

где a_{ij} – степень функции принадлежности (коэффициент) нечеткого отношения M , которая отображает область определения матрицы коэффициентов A на непрерывный интервал $[0, 1]$.

3. Построение функций принадлежности заключений нечетко-логического вывода и определение степени истинности значений изменений основных показателей гомеостаза больного. В нашем исследовании использовались левая и правая линейные Z-образные функции (рис. 1).

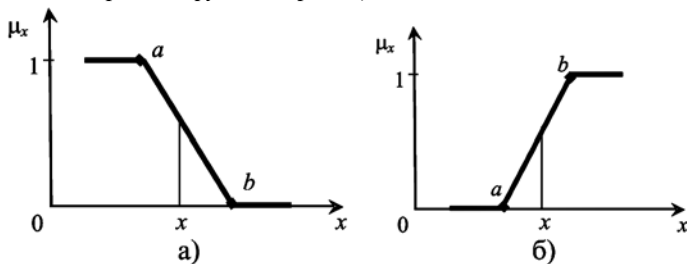


Рис. 1. Z-образная левая (а) и Z-образная правая (б) функции принадлежности

Z-образная функция (левая)

$$f_{\downarrow}(x; a, b) = \begin{cases} 1, & x \leq a; \\ \frac{b-x}{b-a}, & a < x < b; \\ 0, & b \leq x; \end{cases} \quad (3)$$

Z-образная функция (правая)

$$f_{\uparrow}(x; a, b) = \begin{cases} 0, & x \leq a; \\ \frac{x-a}{b-a}, & a < x < b; \\ 1, & b \leq x, \end{cases} \quad (4)$$

где a, b – числовые параметры, принимающие произвольные действительные значения, упорядоченные отношением $a < b$.

Автоматический метод диагностики некоторых причин сердечно-сосудистых осложнений на основе обратных нечетких моделей

Процесс выявления причин, приведших к клиническим изменениям основных параметров гомеостаза, включает в себя следующие этапы:

1. Построение матриц коэффициентов A ($a_{ij} \in [0, 1]$), определенных экспертом на основе нечеткого отношения (2), и заключений нечетко-логического вывода B ($b_j \in [0, 1]$) с помощью композиционного правила Заде (3):

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix}; \quad B = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_m \end{bmatrix}. \quad (5)$$

2. Нормализация матриц A и B , заключающаяся в перестановке строк матриц от строки с минимальным значением коэффициента b_j , расположенной внизу нормализованных матриц A_{norm} и B_{norm} :

$$B_{norm} = \begin{bmatrix} b_m > b_{m-1} \\ \vdots \\ b_j > b_{min} \\ \vdots \\ b_{min} \end{bmatrix}; \quad A_{norm} = \begin{bmatrix} a_{11}^{norm} & a_{12}^{norm} & \dots & a_{1n}^{norm} \\ a_{21}^{norm} & a_{22}^{norm} & \dots & a_{2n}^{norm} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1}^{norm} & a_{m2}^{norm} & \dots & a_{mn}^{norm} \end{bmatrix}. \quad (6)$$

3. Экспертная оценка матриц с целью коррекции коэффициентов нормализованной матрицы A_{norm} определяется с учетом

$$a_{ij}^{norm} = \begin{cases} 0, & \text{если } a_{ij} < b_j; \\ b_j, & \text{если } a_{ij} = b_j; \\ 1, & \text{если } a_{ij} > b_j. \end{cases} \quad (7)$$

4. Проверка условия возможности решения задачи прогнозирования и диагностики на логическую непротиворечивость выводимых результатов [6], [7]. В каждой строке нормализованной матрицы A_{norm} рассчитывается значение счетчика k_j , который инкрементируется при выполнении условия $b_j \leq a_{ij}$. Если значение счетчика $k_j = 0$, то решение задачи диагностики становится невозможным и необходимо провести коррекцию матрицы, увеличивая или уменьшая значение коэффициента a_{ij} на величину 0,1, пока не будет выполняться условие $k_j \geq a_{ij}$.

5. Формирование матрицы элементов r_i' . Начиная с нижней строки нормализованной матрицы A_{norm} , проводится расчет по столбцам предпосылок нечетко-логического вывода с учетом следующих правил:

$$p_i' = \begin{cases} p_i = 0, & \text{если } a_{ij} = 0, \text{ переход к верхней строке;} \\ p_i = z_j, & \text{если } a_{ij} = z_j, \text{ переход к верхней строке,} \\ \text{если в следующей строке } a_{ij} = 0, \text{ то } p_i \text{ не изменяется;} & (8) \\ p_i = z_j, & \text{если } a_{ij} = 1, \text{ переход к верхней строке} \\ \text{и } p_i \text{ больше не изменяется.} \end{cases}$$

6. Формирование вектора выходных значений $R_{вых}$. На этом этапе алгоритма прогнозирования и диагностики принимается решение о возможной причине сердечно-сосудистых осложнений, вызвавшей изменения в работе систем организма по исследуемым информативным признакам (результат выполнения данной операции будет находиться в верхней строке матрицы r_i').

Результаты исследований

Автоматический метод диагностики на основе обратных нечетких моделей использован для диагностики некоторых причин сердечно-сосудистых осложнений у больных острым гнойным пиелонефритом в периоперационном периоде.

Пусть R – множество предпосылок, т. е. причин нарушений в работе организма, $R = \{r_1, r_2, r_3, r_4, r_5, r_6\}$, где $r_1, r_2, r_3, r_4, r_5, r_6$ – шесть прогнозируемых или диагностируемых причин/нарушений в работе основных систем организма: инфекционно-токсический шок, гиповолемия, острая левожелудочковая недостаточность (отек легких), периоперационный инфаркт миокарда, тромбоэмболия легочной артерии, жизнеугрожающие нарушения ритма соответственно.

Согласно поставленной задаче, отобраны следующие информативные признаки и их лингвистические переменные: $x_{САД}$ (систолическое артериальное давление: высокое – $x_{САДв}$, низкое – $x_{САДн}$); $x_{ЧСС}$ (частота сердечных сокращений); $x_{ЧДД}$ (частота дыхательных движений); $x_{ЦВД}$ (центральное венозное давление: высокое – $x_{ЦВДв}$, низкое – $x_{ЦВДн}$); $x_{СИ}$ (сердечный индекс: высокий – $x_{СИв} > 4,0 \text{ л} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{мин}^{-1}$, низкий – $x_{СИн} < 2,8 \text{ л} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{мин}^{-1}$); $x_{ОПСС}$ (общее периферическое сосудистое сопротивление: высокое – $x_{ОПССв} > 1500 \text{ дин} \cdot \text{с} \cdot \text{с}^{-5}$, низкое – $x_{ОПССн} < 900 \text{ дин} \cdot \text{с} \cdot \text{с}^{-5}$); $x_{ЛИИ}$ (лейкоцитарный индекс интоксикации); $x_{Д}$ (диурез); $x_{К}^+$

Алгоритм автоматического метода прогнозирования и диагностики причин ССО

<p>1. В матрице А каждый столбец описывает лингвистическую переменную, в матрице В – заключения нечетко-логического вывода:</p> $A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0,9 & 0,4 & 0,5 \\ 1 & 0,9 & 0 & 0,4 & 0,6 & 0,5 \\ 1 & 1 & 0,7 & 0,5 & 0,5 & 0,8 \\ 0,2 & 0,2 & 0,8 & 0,5 & 1 & 0,5 \\ 0 & 0 & 1 & 0,8 & 0,9 & 0,2 \\ 0,9 & 1 & 0 & 0,5 & 0 & 0,1 \\ 1 & 0 & 0,2 & 0,1 & 0,1 & 0 \\ 1 & 0,9 & 0,6 & 0,5 & 0,4 & 0,6 \\ 0 & 1 & 0,8 & 0,7 & 0,6 & 0,2 \\ 1 & 0,7 & 0 & 0,2 & 0,1 & 0 \\ 1 & 0,5 & 0,1 & 0 & 0 & 0 \\ 0,9 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,1 & 0,4 & 0,1 & 0,2 & 0,1 & 1 \\ 0,5 & 0,7 & 0,7 & 0,8 & 1 & 0 \\ 1 & 0,9 & 0,1 & 0,2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0,9 & 0,8 & 0,7 \\ 1 & 0,7 & 0 & 0 & 0 & 0,4 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0,9 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0,7 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0,7 \\ 1 \\ 0,7 \\ 0,6 \\ 0,6 \\ 1 \\ 0 \\ 0,7 \\ 0,6 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0,7 \\ 0,6 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0,7 \end{bmatrix}.$	<p>2. Нормализация матриц А и В:</p> $A = \begin{bmatrix} 1 & 0,9 & 0,1 & 0,2 & 0 & 0 \\ 1 & 0,5 & 0,1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0,2 & 0,1 & 0,1 & 0 \\ 1 & 1 & 0,7 & 0,5 & 0,5 & 0,8 \\ 1 & 0,9 & 0 & 0,4 & 0,6 & 0,5 \\ 1 & 0,7 & 0 & 0,2 & 0,1 & 0 \\ 0,9 & 1 & 0 & 0,5 & 0 & 0,1 \\ 0,9 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0,7 & 0 & 0 & 0 & 0,4 \\ 0,5 & 0,7 & 0,7 & 0,8 & 1 & 0 \\ 0,1 & 0,4 & 0,1 & 0,2 & 0,1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0,9 & 0,8 & 0,7 \\ 0 & 1 & 0,8 & 0,7 & 0,6 & 0,2 \\ 1 & 0,9 & 0,6 & 0,5 & 0,4 & 0,6 \\ 0 & 0 & 1 & 0,8 & 0,9 & 0,2 \\ 0,2 & 0,2 & 0,8 & 0,5 & 1 & 0,5 \\ 0 & 0 & 1 & 0,9 & 0,4 & 0,5 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 0,9 \\ 0,7 \\ 0,7 \\ 0,7 \\ 0,7 \\ 0,6 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0,7 \\ 0,6 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0,7 \\ 0,6 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}.$
<p>3. Изменение коэффициентов нормализованной матрицы A_{norm}:</p> $\hat{A}_{norm} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0,9 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0,9 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0,7 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0,7 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}, \quad \hat{A}_{norm} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 0,9 \\ 0,9 \\ 0,7 \\ 0,7 \\ 0,7 \\ 0,7 \\ 0,6 \\ 0,6 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0,6 \\ 0,6 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0,6 \\ 0,6 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}.$	<p>4. Расчет значений счетчика k для каждой строки нормализованной матрицы A_{norm}:</p> $A_{norm} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0,9 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0,9 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0,7 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0,7 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}, \quad B_{norm} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 0,9 \\ 0,7 \\ 0,7 \\ 0,7 \\ 0,7 \\ 0,6 \\ 0,6 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0,6 \\ 0,6 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0,6 \\ 0,6 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad k = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 2 \\ 2 \\ 2 \\ 2 \\ 2 \\ 2 \\ 4 \\ 1 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \\ 4 \\ 6 \\ 4 \end{bmatrix}.$
<p>5. Расчет по столбцам предпосылок нечетко-логического вывода:</p> $R_i = \begin{bmatrix} r1 & r2 & r3 & r4 & r5 & r6 \\ 1 & 0,7 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0,7 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0,7 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,9 & 0,7 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,7 & 0,7 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,7 & 0,7 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,7 & 0,7 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,7 & 0,6 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,6 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,6 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} B \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 0,9 \\ 0,7 \\ 0,7 \\ 0,7 \\ 0,7 \\ 0,6 \\ 0,6 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0,6 \\ 0,6 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0,6 \\ 0,6 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}.$	<p>6. Формирование вектора выходных значений $R_{вых}$:</p> $R_{вых} = \begin{bmatrix} r1 & r2 & r3 & r4 & r5 & r6 \\ 1 & 0,7 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$
<p>7. Вывод</p> <p>Согласно приведенному расчету, при существующих параметрах гомеостаза больного с прогностической значимостью 1,0 можно утверждать, что причина $r1$ (инфекционно-токсический шок) вызывает данного рода клинические проявления. Однако с вероятностью 0,7 можно утверждать и о наличии у больного второй причины ($r2$) – гиповолемии.</p>	

(уровень калия); x_{Ht} (гематокрит); $x_{СНК}$ (скорость наполнения капилляров), $x_t^{°C}$ (температура тела); x_b (возраст).

Величины импакт-фактора (a_{ij}) представляются в виде матрицы коэффициентов средних значений A ($a_{ij} \in [0, 1]$), определенных экспертами на основе нечеткого отношения (2).

На рис. 2, 3 показаны примеры функции принадлежности $\mu_{Сив}$, $\mu_{ЦвДн}$ соответственно.

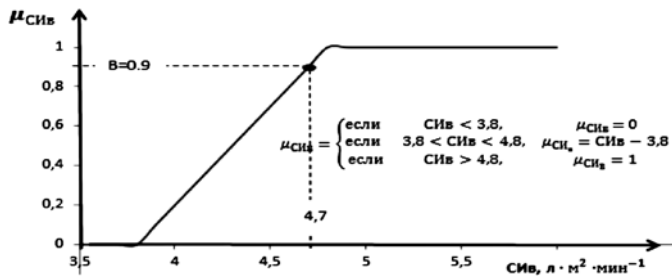


Рис. 2. Функция принадлежности $\mu_{Сив}$ к лингвистической переменной «сердечный индекс высокий» (Сив)

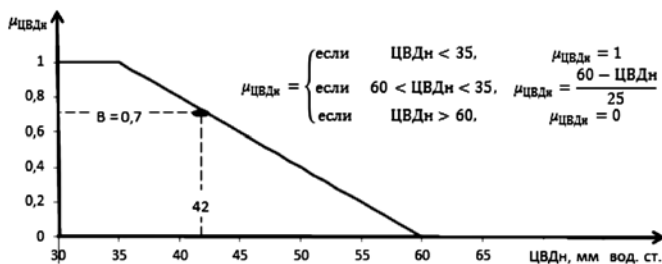


Рис. 3. Функция принадлежности $\mu_{ЦвДн}$ к лингвистической переменной «центральное венозное давление низкое» (ЦвДн)

Рассмотрим решение системы уравнений прогнозирования и диагностики ССО, состоящей из семнадцати уравнений и шести неизвестных, на клиническом примере.

Пусть в процессе предоперационного осмотра пациента с острым гнойным пиелонефритом основные параметры гомеостаза и данные клинико-лабораторного обследования показали: возраст – 65 лет, температура тела – 38,2 °С, СНК – 5 с, артериальное давление – 80/40 мм рт. ст., ЧСС – 118 уд⁻¹, ЧДД – 22/мин, ЦВД – 42 мм вод. ст., СИ – 4,7 л·м²·мин⁻¹, ОПСС – 900 дин·с·с⁻⁵, диурез – менее 30 мл/ч, гематокрит – 0,5, ЛИИ – 5, К⁺ – 3,3 ммоль/л.

Алгоритм автоматического метода прогнозирования и диагностики некоторых причин ССО, построенный на основе обратных нечетких моделей с использованием методов численного моделирования и аналитической диагностики, полностью приведен в табл. 1.

Анализ табл. 1 показывает, что результаты диагностики отобранных причин ССО полностью совпадают с результатами экспертной оценки данных нарушений, что позволяет сделать вывод о целесообразности использования предложенного математического аппарата для решения задач профилактики и рационального лечения при предупреждении и лечении ССО у больных острым гнойным пиелонефритом в периоперационном периоде.

Заключение

Основанный на композиционном правиле Л. Заде, обратный нечетко-логический вывод позволяет синтезировать сложные автоматические математические модели прогнозирования и диагностики с возможностью создания его на основе пакета прикладных программ для ЭВМ.

Автоматический метод прогнозирования и диагностики показал эффективную (с коэффициентом 1,0; 0,7) методику выявления причин/предпосылок ССО у больных острым гнойным пиелонефритом, что позволяет предпринять превентивные меры профилактики, которые способствуют более «гладкому» течению периоперационного периода, снижают количество ССО и смертность у больных с данной патологией.

Практическая апробация метода показывает приемлемые для использования в практической медицине результаты по качеству прогнозирования и диагностики ССО.

Список литературы:

1. Кровообращение и анестезия. Оценка и коррекция системной гемодинамики во время операции и анестезии / Под ред. проф. К.М. Лебединского. – СПб.: Человек, 2012. С. 477-489.
2. Lehot J.I., Arvieux C.C., Viale J.P. et al. Ischemia myocardique and anesthesia // Annales Francaises d'Anesthesie et de Reanimation. 1995. Vol. 14. PP. 176-197.
3. Корневский Н.А. Проектирование нечетких решающих сетей, настраиваемых по структуре данных, для задач медицинской диагностики // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2005. Т. 4. № 1. С. 12-20.
4. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. – М.: Мир, 1976. 165 с.
5. Sanchez E. Resolution of Composite Fuzzy Relation Equations // Information and Control. 1976. Vol. 30. № 1. PP. 38-48.
6. Бобырь М.В., Титов В.С., Емельянов С.Г. Автоматическая диагностика элементов систем управления на основе обратного нечетко-логического вывода // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2013. № 11. С. 35-42.
7. Емельянов С.Г., Титов В.С., Бобырь М.В. Адаптивные нечетко-логические системы управления. Монография. – М.: АРГАМАК-МЕДИА, 2013. 184 с.
8. Титов В.С., Бобырь М.В., Анциферов А.В. Адаптивный мультисетевой алгоритм нечетко-логического вывода в задачах управления оборудованием с ЧПУ // Мехатроника, автоматизация, управление. 2013. № 5. С. 18-23.
9. Емельянов С.Г., Бобырь М.В., Анциферов А.В. Алгоритм самообучения адаптивных нейро-нечетких систем на основе мягких вычислений // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2013. Т. 11. № 8. С. 3-9.
10. Бобырь М.В., Емельянов С.Г., Милостная Н.А. О некоторых свойствах моделирования адаптивных нейро-нечетких систем на основе упрощенного нечетко-логического вывода // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2014. Т. 12. № 5. С. 4-12.
11. Бобырь М.В., Кулабухов С.А., Титов Д.В. Оценка влияния числа обучаемых точек на аддитивность нечетких систем // Промышленные АСУ и контроллеры. 2014. № 10. С. 30-35.
12. Бобырь М.В. Влияние количества правил на обучение нечетко-логической системы // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2014. № 11. С. 28-35.
13. Бобырь М.В. Модифицированный алгоритм нечетко-логического вывода в задачах управления оборудованием с ЧПУ // Мехатроника, автоматизация, управление. 2011. № 4. С. 26-32.

Ирина Васильевна Чернова,
ассистент,

Сергей Александрович Сумин,

д-р мед. наук, профессор, зав. кафедрой,
кафедра анестезиологии, реаниматологии
и интенсивной терапии,

ФПО ГБОУ ВПО КГМУ Минздрава России,

Максим Владимирович Бобырь,

д-р техн. наук, профессор,
кафедра вычислительной техники,

Станислав Петрович Серегин,

д-р мед. наук, профессор,
кафедра биомедицинской инженерии,

ФГБОУ ВПО «Юго-Западный

государственный университет»,

г. Курск,

e-mail: irinavasilevna@mail.ru